

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-190979

(43)公開日 平成9年(1997)7月22日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/205			H 0 1 L 21/205	
C 3 0 B 25/02			C 3 0 B 25/02	Z
	29/06	5 0 4	29/06	5 0 4 F
H 0 1 L 21/306			H 0 1 L 21/304	3 4 1 D
21/304	3 4 1		21/302	P
審査請求 有 請求項の数6 OL (全 7 頁)				

(21)出願番号 特願平8-2107

(22)出願日 平成8年(1996)1月10日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 鈴木 達也

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

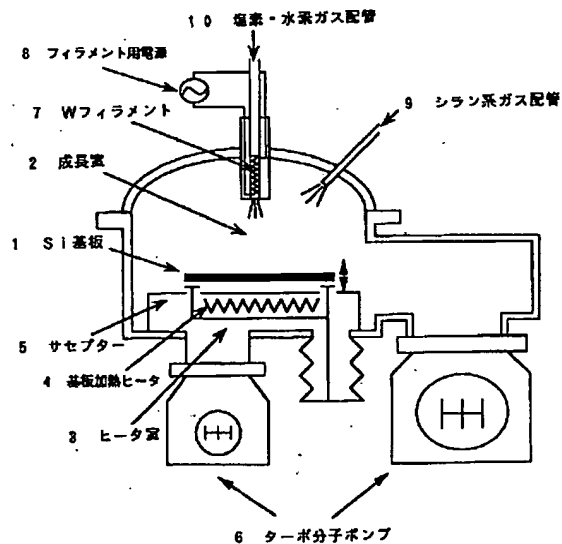
(74)代理人 弁理士 鈴木 章夫

(54)【発明の名称】 選択シリコンエピタキシャル成長方法及び成長装置

(57)【要約】

【課題】 シリコン基板の表面の炭素汚染層を塩素または水素ラジカルで除去するに際し、Deep UV光で得られるラジカル生成量が少ないため、効果的な除去が難しい。

【解決手段】 高温に加熱されたフィラメント7により配管10から供給される塩素または水素ガスを分解して塩素ラジカルまたは水素ラジカルを生成し、このラジカルをシリコン基板1の表面に照射する。この高温加熱フィラメント7を用いることにより、生成されるラジカル量は多くなり、これらのラジカルは希フッ酸処理したシリコン基板1の表面に吸着し、シリコン表面に残留した炭素と反応して炭化塩素または炭化水素を形成し、シリコン基板1の表面から炭素を効果的に除去し、シリコン基板1の表面に形成する選択シリコンエピタキシャル膜の結晶性を向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板の表面に高温に加熱されたフィラメントにより生成した塩素ラジカルまたは水素ラジカルを照射する工程と、前記シリコン基板の表面に選択シリコンエピタキシャル膜を成長する工程を含むことを特徴とする選択シリコンエピタキシャル成長方法。

【請求項2】 シリコン基板は、希フッ酸により表面の自然酸化膜を除去したものをを用いる請求項1の選択シリコンエピタキシャル成長方法。

【請求項3】 選択シリコンエピタキシャル膜は、シランあるいはジシラン等のシラン系ガスを原料として成長する請求項2の選択シリコンエピタキシャル成長方法。

【請求項4】 塩素ラジカルまたは水素ラジカルはそれぞれ高温に加熱されたフィラメントにより塩素ガスまたは水素ガスを分解して生成する請求項1ないし3のいずれかの選択シリコンエピタキシャル成長方法。

【請求項5】 高温に加熱されたフィラメントにより塩素ラジカルまたは水素ラジカルを生成する手段を備えることを特徴とする選択シリコンエピタキシャル成長装置。

【請求項6】 シランあるいはジシラン等のシラン系ガスを原料とする選択シリコンエピタキシャル成長手段を備える請求項5の選択シリコンエピタキシャル成長装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はシリコン基板上へ選択シリコンエピタキシャル膜を成長する方法に関し、特に成長前の処理工程としてシリコン基板表面に付着した炭素を除去する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】選択シリコンエピタキシャル成長は、 $0.1\mu\text{m}$ レベルの微細なMOSトランジスタにおけるソース/ドレイン部のせり上げ構造への適用という重要なアプリケーションがある。すなわち、シリコン基板に素子分離酸化膜、およびゲートを形成した後、短チャネル効果の抑制を目的としてPN接合深さの浅いソース/ドレインを形成するために、ソース/ドレインとなるべきシリコンにのみ選択的にシリコンエピタキシャル膜を成長した後、ソース/ドレイン形成のためのイオン注入を行うというものである。ここで、選択シリコンエピタキシャル成長を行う装置として図7に示した装置が用いられている。

【0003】同図に示されるように、この装置はシランあるいはジシラン等のシラン系ガスを原料として、シリコン基板上に $600\sim 700^\circ\text{C}$ という低温で選択シリコンエピタキシャル成長するものであり、成長室2、基板加熱ヒータ4が配置されたヒータ室3、シリコン基板1を支持するためのサセプター5、シリコン基板1により分割された成長室2とヒータ室3を差動排気するための

ターボ分子ポンプ6、エピタキシャル成長を行うシラン系ガスを供給するシラン系がす配管9、シリコン基板表面に付着した炭素汚染を塩素ラジカルにより除去するために塩素ガス配管10からの塩素ガスの一部をラジカルに分解するためのDeepUV光発生装置17から構成される。

【0004】ここで、基板加熱ヒータ4はシリコン基板1のみを加熱し、ステンレス製の成長室2は加熱しない。したがって、シラン系ガス配管9より成長室2内部へ導入されたシラン系原料ガスは気相中では分解せず、シリコン基板1のシリコン上で熱解離および吸着し、余分な水素原子を放出してシリコンを析出する。一方、原料ガスは気相中で化学的に活性な中間生成物を作らずにそのままシリコン基板1上に到達するので酸化膜等の絶縁膜上には吸着が起こりにくくまた吸着してもすぐ脱離するのでシリコン成長しづらくなる。その結果、基板温度、原料ガス流量で決定される酸化膜上にシリコン形成が開始されるまでの潜伏時間においてはシリコン上のみシリコンが選択成長する。

【0005】このとき、選択シリコンエピタキシャル成長のシリコン基板の前処理方法としては、通常、APM洗浄（アンモニア/過酸化水素/水の混合薬液による洗浄）によりパーティクル、有機物を除去した後、HPM洗浄（塩酸/過酸化水素/水の混合薬液による洗浄）により、重金属を除去し、さらにこれらの洗浄により形成された自然酸化膜を除去するためにDHF洗浄（希フッ酸処理）を行っている。ここでシリコン基板表面には、DHF処理後、選択シリコンエピタキシャル成長装置にローディングするまでの間に、文献Applied Physics A39, p73 (1986)にあるように、雰囲気中から多量の炭化水素が付着する。この炭化水素に関しては、 $\sim 10^{-9}\text{ torr}$ 台の超高真空中で $600\sim 700^\circ\text{C}$ のエピタキシャル成長温度で加熱しても水素は蒸発するが炭素は残留する。このような炭素汚染が残留した状態で、そのままエピタキシャル成長すると、界面に炭素汚染がパイルアップし、これはエピタキシャル膜自体の結晶品質を界面炭素汚染のないものに比べ著しく劣化させてしまう。

【0006】そこで、DHF処理したシリコン基板を選択シリコンエピタキシャル成長装置にローディング後、 $600\sim 700^\circ\text{C}$ のエピタキシャル成長温度、代表的には 650°C に加熱する過程で、特開昭63-237419号公報にあるように、塩素ガスをDeepUV光発生装置17で発生されるDeepUV光18によりその一部をラジカルに分解し、これをシリコン基板に照射して、基板表面の炭素汚染をエッチング除去し、更に基板表面に残留した塩素原子を除去するため一度、 800°C 程度まで昇温して塩素原子を蒸発させてから、エピタキシャル成長温度（ 650°C ）まで降温しジシラン等のガスを用いてエピタキシャル成長を行う方法がとられてい

る。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来の方法で、選択シリコンエピタキシャル成長した場合であっても、エピタキシャル膜／シリコン基板界面には $\sim 10^{14} / \text{cm}^2$ の炭素汚染が残留するという問題がある。これは以下の理由による。すなわち前記公報に記載されているように、Deep UV光を用いて生成した塩素ラジカルはその量が少ないため、炭素汚染層の十分なエッチング速度を得ることができるようになるためには塩素ガス圧力は少なくとも0.1 torr以上としなければならない。一方、図7に示した選択シリコンエピタキシャル成長装置の場合では低温選択成長を可能とするために、ガスを全く流さないときのバックグラウンド圧力が $10^{-9} \sim 10^{-10}$ torr台となるように、またガスを流したときであっても、 5×10^{14} torr以下の圧力となるように設計されており、これ以上の圧力となるようにガスを流してしまうと装置本体に多大な負荷を与え、装置の寿命を縮めてしまう。

【0008】したがって、塩素ガス圧力を最大で 5×10^{14} torr程度までしか上げられないが、この圧力では十分な量の塩素ラジカルを生成できないために、炭素汚染層のエッチング速度が極めて遅くなりエピタキシャル膜／シリコン基板界面に炭素汚染が残留する。これより、成長される選択エピタキシャル層の結晶性が劣化されるという問題がある。

【0009】本発明の目的は、シリコン基板上の炭素汚染層のエッチング速度を高めて炭素汚染層を完全に除去し、結晶性に優れた選択エピタキシャル層の成長を可能にした成長方法及び成長装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の選択シリコンエピタキシャル成長方法は、シリコン基板の表面に高温に加熱されたフィラメントにより生成した塩素ラジカルまたは水素ラジカルを照射する工程と、前記シリコン基板の表面に選択シリコンエピタキシャル膜を成長する工程を含むことを特徴とする。ここで、シリコン基板は希フッ酸により表面の自然酸化膜を除去したものを用い、また、選択シリコンエピタキシャル膜は、シランあるいはジシラン等のシラン系ガスを原料として形成することが好ましい。また、塩素ラジカルまたは水素ラジカルはそれぞれ高温に加熱されたフィラメントにより塩素ガスまたは水素ガスを分解して生成する。

【0011】また、本発明の選択シリコンエピタキシャル成長装置は、高温に加熱されたフィラメントにより塩素ラジカルまたは水素ラジカルを生成する手段を備えることを特徴とする。この場合、シランあるいはジシラン等のシラン系ガスを原料とする選択シリコンエピタキシャル成長手段を備えることが好ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1は本発明にかかる選択シリコンエピタキシャル成長装置の構成図である。なお、図7に示した従来の選択シリコンエピタキシャル成長装置と同一部分には同一符号を付してある。すなわち、シリコン基板1に対してシリコンエピタキシャル成長を行うための成長室2、基板加熱ヒータ4が配置されたヒータ室3、前記シリコン基板1を支持するためのサセプター5、前記シリコン基板1により分割された成長室2とヒータ室3を差動排気するためのターボ分子ポンプ6、シラン系ガスを成長室2に導入するためのシラン系ガス配管9、前記シリコン基板1の表面に付着した炭素汚染を塩素ラジカルにより除去するために塩素・水素ガス配管10からの塩素ガスの一部をラジカルに分解するためのW(タングステン)フィラメント7、およびフィラメント用電源8を備えている。塩素ガスはフィラメント用電源8により高温に加熱されたWフィラメント7を通過する際に、その約10%程度が塩素ラジカルに解離する。この塩素ラジカルはフッ酸処理されたシリコン基板表面に吸着した炭素と反応して炭化塩素を形成し、基板表面から炭素を除去する効果がある。

【0013】また、前記塩素・水素ガス配管10は、水素ガス配管として構成されてもよく、塩素ガスの代わりに水素ガスを供給し、この水素ガスをWフィラメントを通過させて水素ラジカルを生成し、この水素ラジカルを成長室2に供給するようにしてもよい。

【0014】このような選択エピタキシャル成長装置を用いることにより、前記塩素ラジカルまたは水素ラジカルは希フッ酸処理したシリコン表面に吸着し、表面に残留した炭素と反応して、炭化塩素または炭化水素を形成し、基板表面から炭素を除去する。このとき、高温に加熱したフィラメントによるラジカル生成量はDeep UV光を用いた場合に比べ著しく多いので十分に炭素汚染を除去できる。したがって、その後に、ジシラン等を用いてエピタキシャル成長することにより、エピタキシャル膜／シリコン基板界面に炭素のパイルアップのない結晶性の良いエピタキシャル膜を形成することが可能となる。

【0015】

【実施例】次に、本発明の第1の実施例を説明する。実際に酸化膜を部分的に開孔したシリコン基板上にジシランを原料ガスとして、選択シリコンエピタキシャル成長した例を説明する。まず、(100)面を有する直径150mmのシリコン基板を1000℃の温度でウエット酸化し、表面に2000Åの熱酸化膜を形成した。次に、この基板をフォトリソグラフィ、約17%のバッファードフッ酸を用いたウエットエッチングにより開孔パターンを形成した。酸化膜の開孔パターン部の割合は基板全面積の10%とした。これ以降、図2に示したフローにより選択シリコンエピタキシャル成長を行った。

【0016】すなわち、この基板をアンモニア／過酸化水素／水（組成比1：5：20）からなる薬液により、70℃で10分APM洗浄して基板表面の有機物、パーティクルを除去した後、10分間純水で水洗した。続けて、塩酸／過酸化水素／水（組成比1：1：5）からなる薬液により、70℃で10分間HPM洗浄して基板表面の重金属を除去した後、10分間純水で水洗した。続けて0.5%の希フッ酸（DHF）に1分間浸すことにより、基板表面に形成された自然酸化膜を除去した後、水洗を2分間行い、最後にリンサードライヤーにより乾燥した。この基板を図1に示した装置にローディングした。このときの成長室2における圧力は 1×10^{-9} torrであった。

【0017】基板ローディング完了後、あらかじめフィラメント用電源8により2000℃まで加熱されたWフィラメント7を有する塩素・水素ガス配管10に塩素ガスを4～20SCCM流して、塩素ラジカルを形成し、基板1上への塩素ラジカル照射を開始した。その後、基板加熱ヒータ4により、基板1を650℃まで昇温し、基板温度が安定化するまで5分間保持した。塩素ガスをカットすることにより塩素ラジカル照射を終了してから、基板に残留した塩素を除去するために基板1を800℃まで昇温し、5分間保持した。その後、650℃まで降温、5分間保持し、シラン系ガス配管9からジシランガスを2SCCM流して1000Åの選択シリコンエピタキシャル膜を形成した。このときのジシランガス分圧は 5×10^{-5} torrであった。

【0018】図3に図2のプロセスフローで塩素ガスをDeep UV光17により分解して塩素ラジカルを形成し、これにより基板表面の炭素汚染を除去した場合（従来例）、図2のプロセスフローで塩素ガスをWフィラメント7により分解して塩素ラジカルを形成し炭素汚染を除去した場合（第1の実施例）における選択エピタキシャル膜／シリコン基板界面の炭素汚染量を示した。評価はSIMSを用い、デプスプロファイルにおける界面のパイルアップを積分して、シート濃度を求め、これを炭素汚染量とした。この図から明らかなように、従来例でも、第1の実施例でも界面炭素汚染量は塩素ガス流量を増加するにつれ減少する。しかし同じ塩素ガス流量で比較すると界面炭素汚染量は本実施例の場合、従来例の約1/20程度に抑えられている。これは、塩素ガスが2000℃に加熱されたWフィラメント7を通過する際に、その一部が塩素ラジカルに解離し、これが希フッ酸処理されたシリコン基板表面に吸着した炭素と反応して炭化塩素を形成し、基板表面から炭素を除去するがこのときのラジカル生成効率が10%と高く、一方Deep UV光を用いた場合ではラジカル生成効率は0.5%と低いためである。

【0019】次に、界面炭素汚染を除去したシリコン基板上に選択エピタキシャル成長した膜の結晶性を評価す

るために、図4に示すようなプロセスフローでTEGを作成し、逆バイアスPN接合リーク特性を測定した。すなわち、図4（a）のように、抵抗率 $\sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ のアンチモンドープn型シリコン（100）基板11に素子分離酸化膜12を形成し、上述した本実施例に基づいて1000Åの選択エピタキシャル膜13を形成した。ただし、塩素ガス流量は20SCCMとした。その後、図4（b）のように、 BF_3^+ イオンを30keVで $2 \text{E}15/\text{cm}^2$ 注入した。その後、RTAで1000℃、10秒のアニールを行い、活性化してイオン注入層14を形成した。さらに、図4（c）のように、5000ÅのTEOS膜15を形成し、リソグラフィ技術を用いてコンタクトホールを開孔後、Al（アルミニウム）スパッタ+リソグラフィによりAl配線16を形成した。

【0020】図5はこのようにして形成したTEGの逆バイアスリーク特性である。この図から明らかなように、第1の実施例においては従来例の約1/10程度のリーク電流に抑えられている。これは、高温に加熱されたWフィラメントによりDeep UV光よりも効率良く多量に生成した塩素ラジカルによって、選択エピタキシャル膜／シリコン基板界面の炭素汚染量が従来の1/20まで減少したことでエピタキシャル膜の結晶性が向上したためである。

【0021】次に、本発明の第2の実施例について説明する。本実施例では、水素ラジカルを利用した実施例であり、実際に選択シリコンエピタキシャル成長した例について説明する。図6は本実施例のプロセスフローである。選択エピタキシャル成長に用いたシリコン基板は第1の実施例とまったく同じとした。この基板を第1の実施例と同じウェット洗浄プロセスにより処理した後、第1図に示したUHV-CVD装置にローディングした。その後、あらかじめフィラメント用電源8により2000℃まで加熱されたWフィラメント7を有する塩素・水素ガス配管10に水素ガスを4～20SCCM流して、水素ラジカルを形成し、基板1上への水素ラジカル照射を開始した。その後、基板加熱ヒータ4により、基板1を650℃まで昇温し、基板温度が安定化するまで5分間保持した。その後、水素ガスをカットすることにより水素ラジカル照射を終了した。このときすべての水素ラジカルは直ちにシリコン基板上から脱離する。したがって、第1の実施例、すなわち塩素ラジカル照射の場合のように、基板上の塩素ラジカルを脱離させるために800℃まで昇温するというプロセスを必要としない。その後、第1の実施例と同様な条件で選択エピタキシャル成長を行い、選択エピタキシャル膜／シリコン基板界面の炭素汚染量をSIMSで求めた。

【0022】図3に水素ガスを4～20SCCM流した場合（第2の実施例）における選択エピタキシャル膜／シリコン基板界面の炭素汚染量を従来例、第1の実施例と比較して示した。この図から明らかなように、水素ガ

ス流量を増加するにつれて界面炭素汚染量は減少し、その量は第1の実施例と同様であった。すなわち、第2の実施例の場合においても、第1の実施例と同様な効果を得ることができ、しかも第2の実施例では第1の実施例に比べラジカルを脱離させるための昇温プロセスを必要としないので、プロセスタイムを短縮することができる。これは、水素ラジカルがシリコン基板表面の炭素と反応し、炭化水素を形成して表面から脱離し、結果として炭素がシリコン基板表面から除去され、しかも水素ガス照射終了後、基板上に存在する水素は直ちにシリコン基板表面から脱離するためである。

【0023】また、第1の実施例と同様に第2の実施例においても、接合リーク特性を評価するためのTEGを作成した。プロセスフローは第1の実施例と全く同様とした。ただし、水素ガス流量は20SCCMとした、図5に第2の実施例、第1の実施例、従来例の接合リーク特性の比較を示した。この図から明らかなように、第2の実施例においては第1の実施例と同じレベルまで接合リーク電流を抑えることができ、結晶性の良好な選択エピタキシャル膜を形成することが可能となる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、シリコン基板の表面に高温に加熱されたフィラメントにより生成した塩素ラジカルまたは水素ラジカルを照射する工程を含んでいるので、塩素ラジカルまたは水素ラジカルは希フッ酸処理したシリコン表面に吸着し、表面に残留した炭素と反応して炭化塩素または炭化水素を形成し、基板表面から炭素を除去することができ、特に高温に加熱したフィラメントによるラジカル生成量はDeepUV光を用いた場合に比べ著しく多いのでシリコン基板の表面の炭素汚染層を迅速に除去することができ、シリコン基板の表面に形成する選択シリコンエピタキシャル膜の結晶性を向上するという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる選択シリコンエピタキシャル成長装置の構成図である。

【図2】本発明の第1の実施例のプロセスフロー図である。

【図3】選択シリコンエピタキシャル膜/シリコン基板界面炭素汚染量のエッチングガス流量依存性を示す図である。

【図4】選択シリコンエピタキシャル膜の結晶性を評価するためのTEGの作成フロー図である。

【図5】TEGの逆バイアスリーク特性図である。

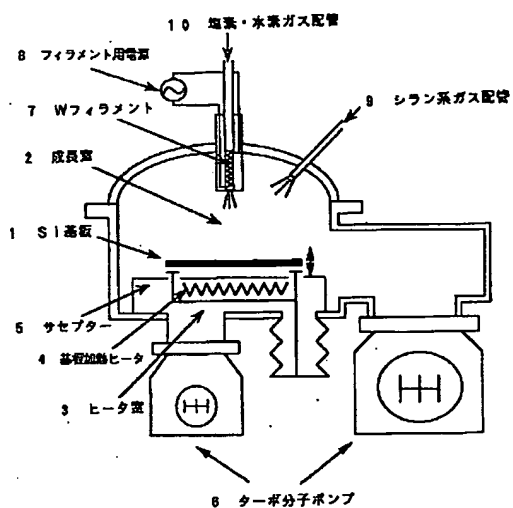
【図6】本発明の第2の実施例のプロセスフロー図である。

【図7】従来の選択シリコンエピタキシャル成長装置の構成図である。

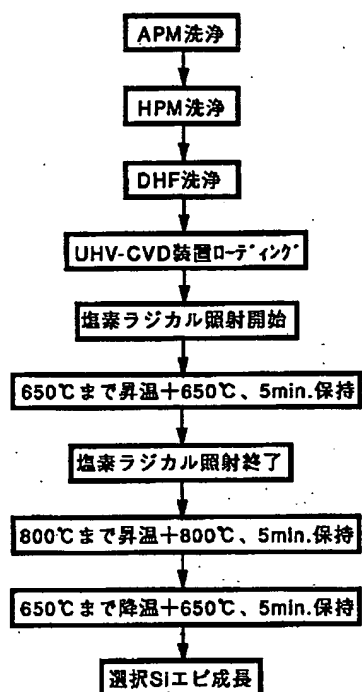
【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 2 成長室
- 3 ヒータ室
- 4 基板過熱ヒータ
- 5 サセプター
- 6 ターボ分子ポンプ
- 7 Wフィラメント
- 8 フィラメント用電源
- 9 シラン系ガス配管
- 10 塩素・水素ガス配管
- 11 n型シリコン基板
- 12 素子分離酸化膜
- 13 選択シリコンエピタキシャル膜
- 14 イオン注入層
- 15 TEOS膜
- 16 アルミニウム配線
- 17 DeepUV発生装置
- 18 DeepUV光

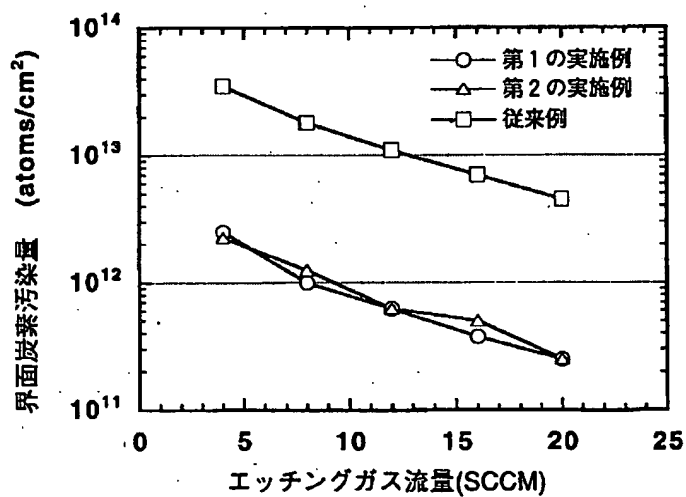
【図1】



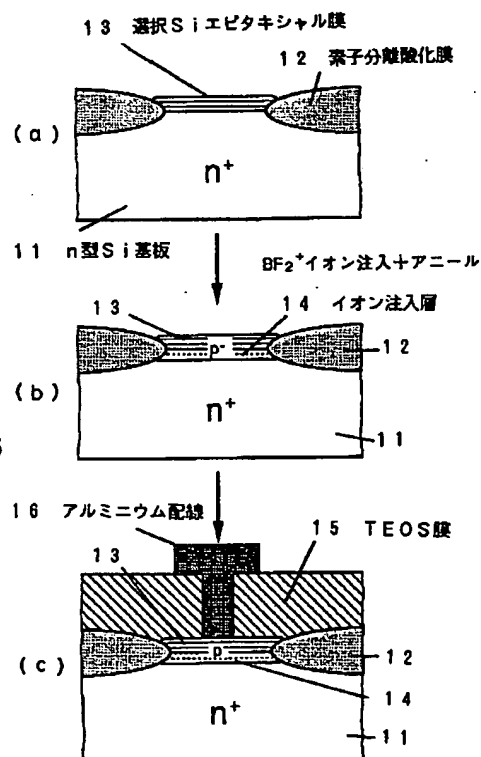
【図2】



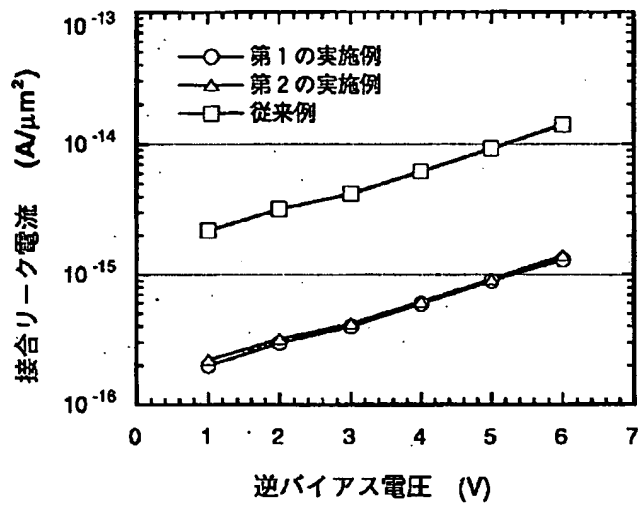
【図3】



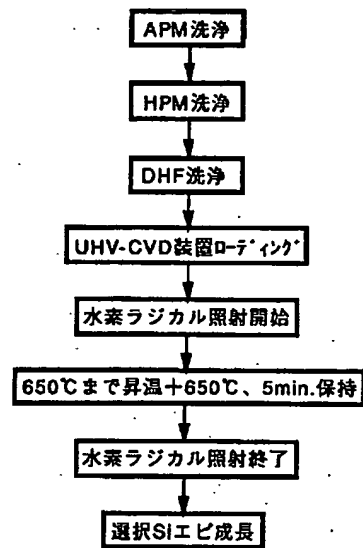
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

